

Física I

Semana 04 - Aula 2

Movimento circular

Prof. Henrique Antonio Mendonça Faria

Movimento circular uniforme

- Partícula se move ao longo de uma circunferência.
- Velocidade escalar constante.

Movimento circular uniforme

- Partícula se move ao longo de uma circunferência.
- Velocidade escalar constante.
- Exemplos:
 - Carro em uma curva com raio e velocidades constantes.
 - Satélite em órbita circular.

Movimento circular uniforme

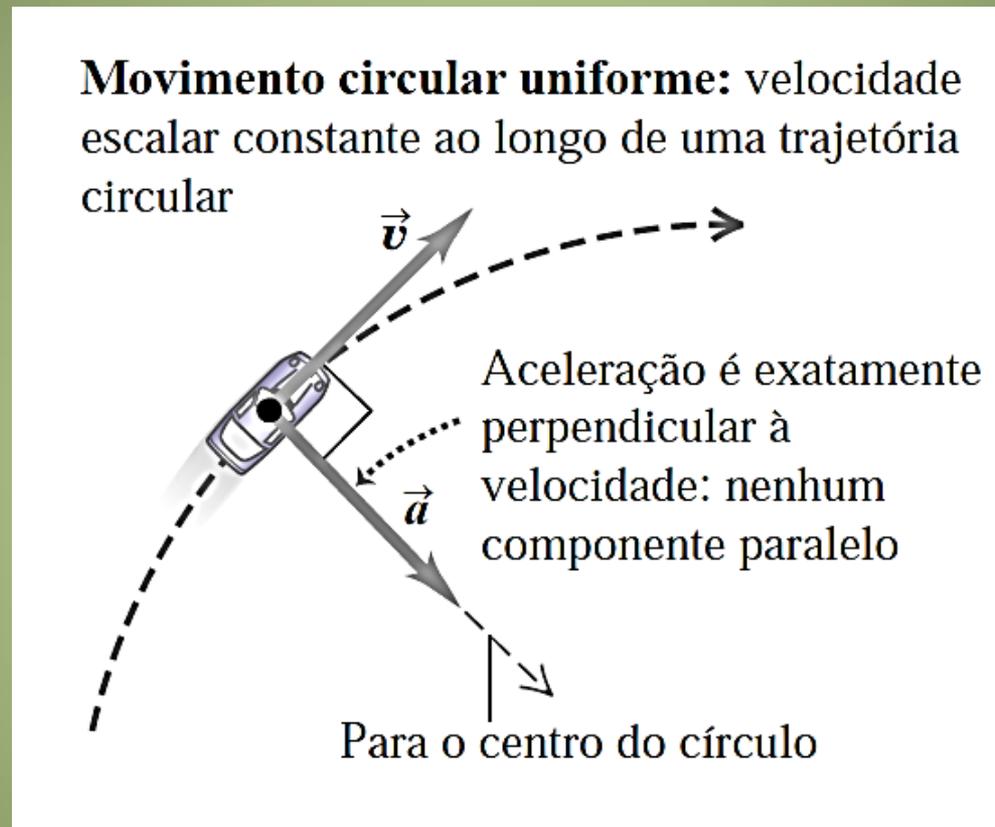


Figura 3.27 Um carro em movimento circular uniforme. A velocidade escalar é constante e a aceleração é orientada para o centro da trajetória circular.

Fonte: Sears e Zemansky

Movimento circular uniforme

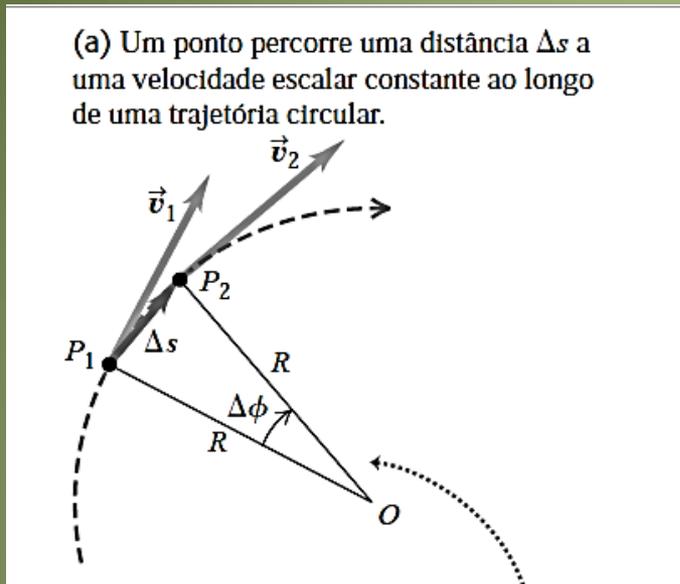


Figura 3.28 Variação da velocidade, aceleração média e a aceleração instantânea para uma partícula que se move em círculo a uma velocidade constante.

Fonte: Sears e Zemansky

prof Henrique Faria

Movimento circular uniforme

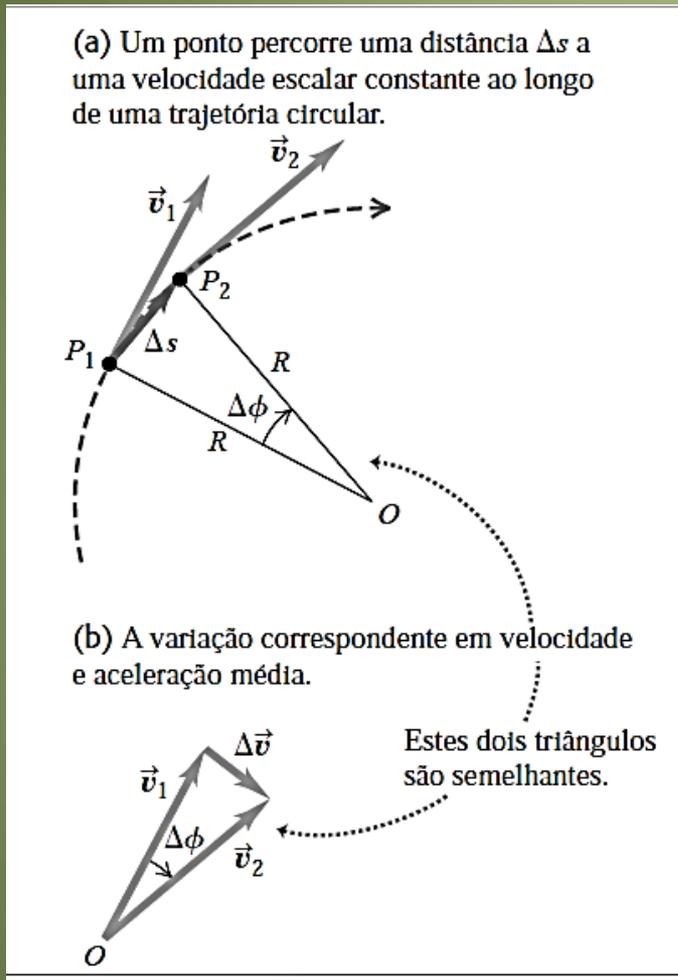


Figura 3.28 Variação da velocidade, aceleração média e a aceleração instantânea para uma partícula que se move em círculo a uma velocidade constante.

Movimento circular uniforme

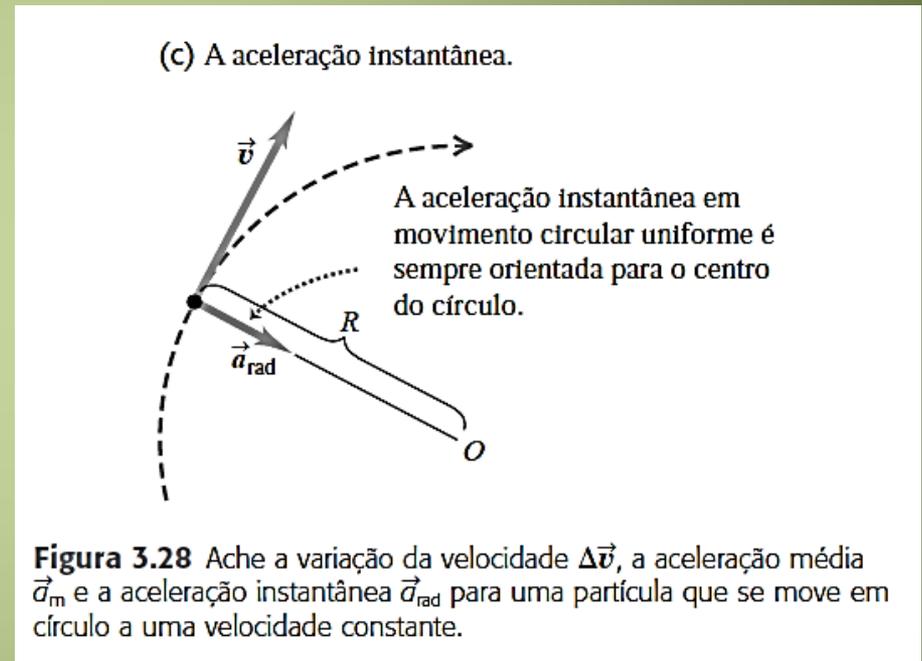
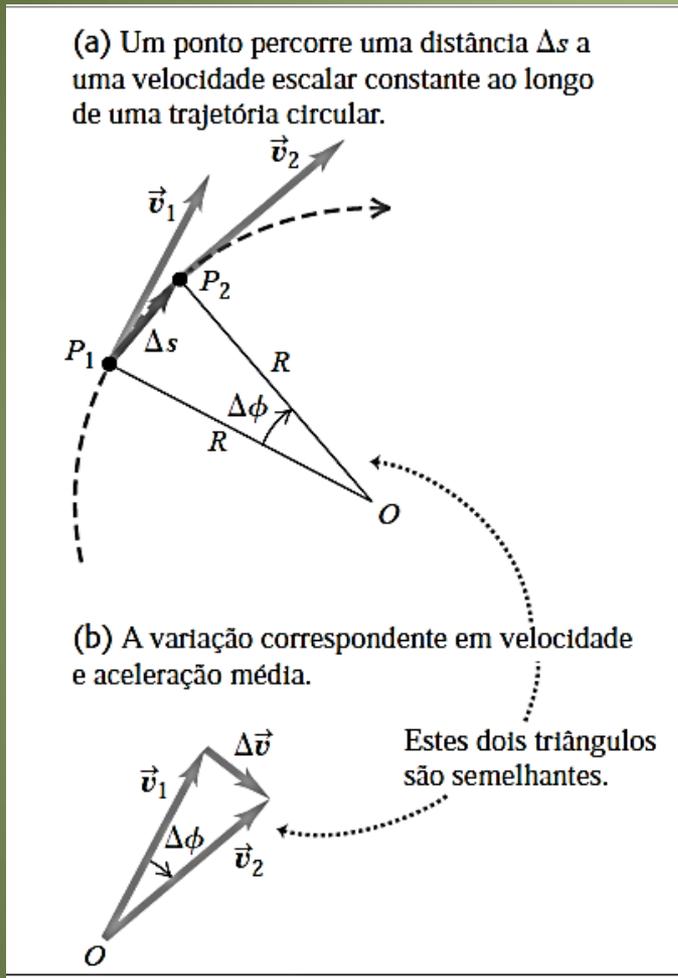


Figura 3.28 Variação da velocidade, aceleração média e a aceleração instantânea para uma partícula que se move em círculo a uma velocidade constante.

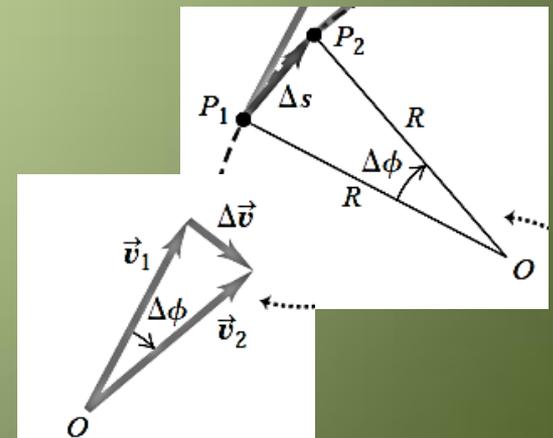
Movimento circular uniforme

- A partícula se move de P_1 a P_2 em um intervalo de tempo Δt .
- Os ângulos $\Delta\phi$ nas figuras 3.28a e 3.28b são iguais porque \vec{v}_1 é perpendicular à linha OP_1 e \vec{v}_2 é perpendicular à linha OP_2 .

Movimento circular uniforme

- A partícula se move de P_1 a P_2 em um intervalo de tempo Δt .
- Os ângulos $\Delta\phi$ nas figuras 3.28a e 3.28b são iguais porque \vec{v}_1 é perpendicular à linha OP_1 e \vec{v}_2 é perpendicular à linha OP_2 .
- Portanto, os triângulos são semelhantes, logo:

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{v_1} = \frac{\Delta s}{R} \quad \Rightarrow \quad |\Delta\vec{v}| = \frac{v_1}{R} \Delta s$$



Movimento circular uniforme

- O módulo da aceleração média durante o intervalo de tempo Δt é portanto:

$$a_m = \frac{|\Delta \vec{v}|}{\Delta t} = \frac{v_1 \Delta s}{R \Delta t}$$

Movimento circular uniforme

- O módulo da aceleração média durante o intervalo de tempo Δt é portanto:

$$a_m = \frac{|\Delta \vec{v}|}{\Delta t} = \frac{v_1 \Delta s}{R \Delta t}$$

- O módulo a da aceleração instantânea no ponto P_1 :

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v_1 \Delta s}{R \Delta t} = \frac{v_1}{R} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Movimento circular uniforme

- O módulo da aceleração média durante o intervalo de tempo Δt é portanto:

$$a_m = \frac{|\Delta \vec{v}|}{\Delta t} = \frac{v_1 \Delta s}{R \Delta t}$$

- O módulo a da aceleração instantânea no ponto P_1 :

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v_1 \Delta s}{R \Delta t} = \frac{v_1}{R} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$a_{rad} = \frac{v^2}{R}$$

Movimento circular uniforme

- No movimento circular uniforme, o módulo da aceleração instantânea é igual ao quadrado da velocidade escalar v dividido pelo raio R do círculo.

Movimento circular uniforme

- No movimento circular uniforme, o módulo da aceleração instantânea é igual ao quadrado da velocidade escalar v dividido pelo raio R do círculo.
- Sua direção é perpendicular a \vec{v} e aponta para dentro do círculo ao longo do raio.
- A aceleração é também chamada de aceleração centrípeta.

Movimento circular uniforme

(a) Movimento circular uniforme.

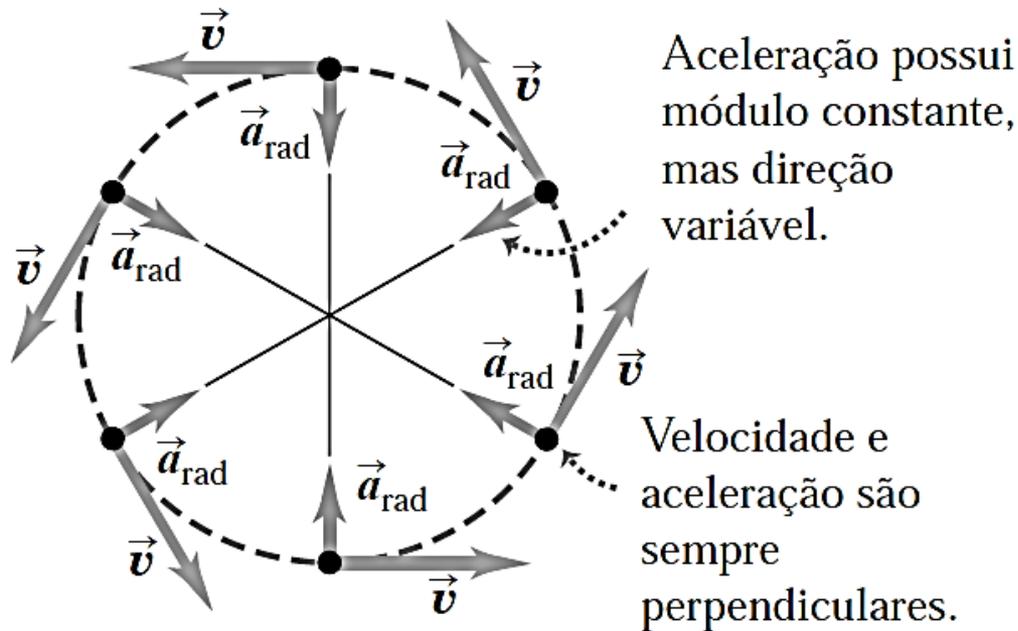


Figura 3.29 Aceleração e velocidade (a) para uma partícula em movimento circular uniforme.

Fonte: Sears e Zemansky

Movimento circular uniforme

- O módulo da aceleração em função do período **T**:

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

Movimento circular uniforme

- O módulo da aceleração em função do período T :

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

- Substituindo esse resultado na equação de a_{rad} :

$$a_{rad} = \frac{v^2}{R} \quad \Rightarrow \quad a_{rad} = \frac{(2\pi R)^2}{T^2 R}$$

Movimento circular uniforme

- O módulo da aceleração em função do período T :

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

- Substituindo esse resultado na equação de a_{rad} :

$$a_{rad} = \frac{v^2}{R} \quad \Rightarrow \quad a_{rad} = \frac{(2\pi R)^2}{T^2 R}$$

$$a_{rad} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

Movimento circular não uniforme

Movimento circular uniforme não uniforme

- Ocorre quando a velocidade da partícula varia.
- Existirá ainda a componente da aceleração radial, sempre *perpendicular* à velocidade instantânea.

Movimento circular uniforme não uniforme

- Ocorre quando a velocidade da partícula varia.
- Existirá ainda a componente da aceleração radial, sempre *perpendicular* à velocidade instantânea.
- Mas existirá também um componente da aceleração relativa à velocidade instantânea, tangente à circunferência (a_{tg}).

Movimento circular uniforme não uniforme

➤ As expressões para aceleração ficam:

$$a_{rad} = \frac{v^2}{R} \quad a_{tg} = \frac{d|\vec{v}|}{dt}$$

Movimento circular uniforme não uniforme

- As expressões para aceleração ficam:

$$a_{rad} = \frac{v^2}{R} \quad a_{tg} = \frac{d|\vec{v}|}{dt}$$

- O componente tangencial da aceleração possui direção paralela à direção do vetor velocidade.

Movimento circular uniforme não uniforme

- As expressões para aceleração ficam:

$$a_{rad} = \frac{v^2}{R} \quad a_{tg} = \frac{d|\vec{v}|}{dt}$$

- O componente tangencial da aceleração possui direção paralela à direção do vetor velocidade.
- a_{tg} tem mesmo sentido, quando a velocidade escalar aumenta, e sentido contrário quando a velocidade escalar diminui.

Movimento circular uniforme não uniforme

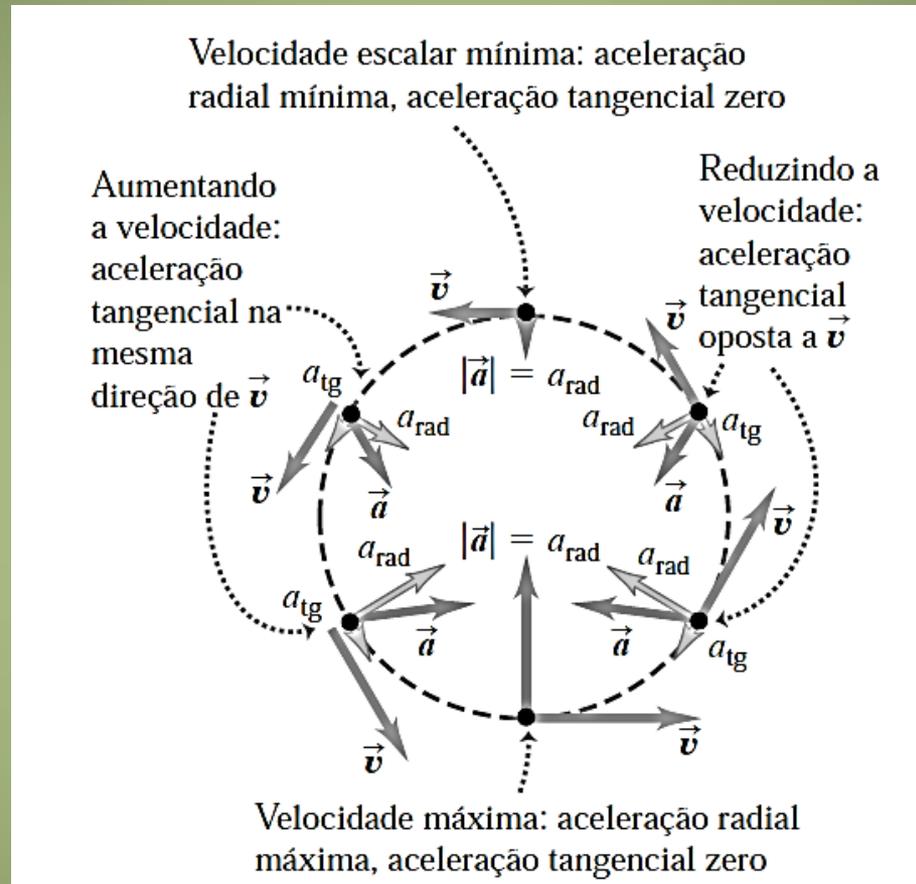


Figura 3.30 Partícula movendo-se em um círculo vertical, como um carro de uma montanha-russa, com velocidade variável.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa

Velocidade relativa

- Considere dois observadores que medem a velocidade de um objeto que se move.

Velocidade relativa

- Considere dois observadores que medem a velocidade de um objeto que se move.
- Eles obtêm resultados diferentes se estes observadores se movem em relação ao outro.

Velocidade relativa

- Considere dois observadores que medem a velocidade de um objeto que se move.
- Eles obtêm resultados diferentes se estes observadores se movem em relação ao outro.
- A velocidade medida por um dos observadores denomina-se **velocidade relativa** ao observador considerado.

Velocidade relativa

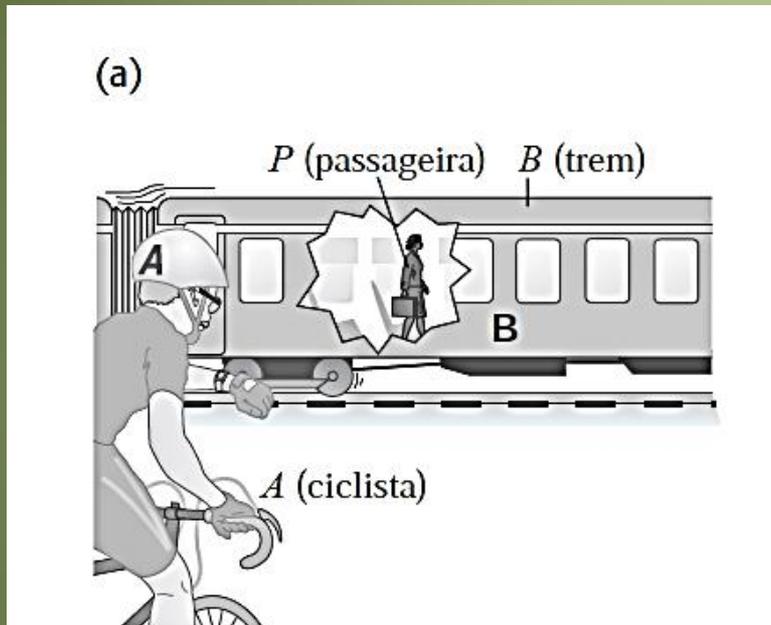


Figura 3.32 (a) A mulher caminhando no interior do trem. (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa

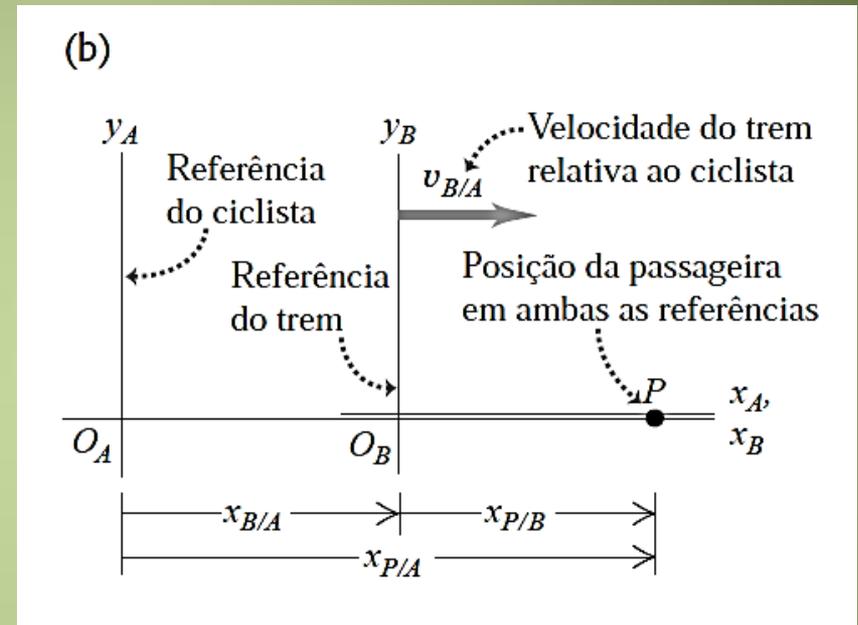
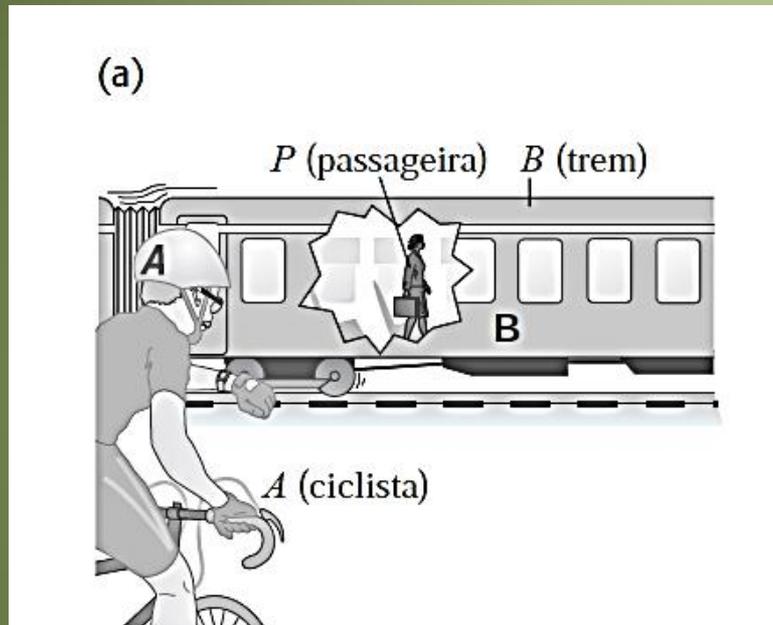


Figura 3.32 (a) A mulher caminhando no interior do trem. (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa

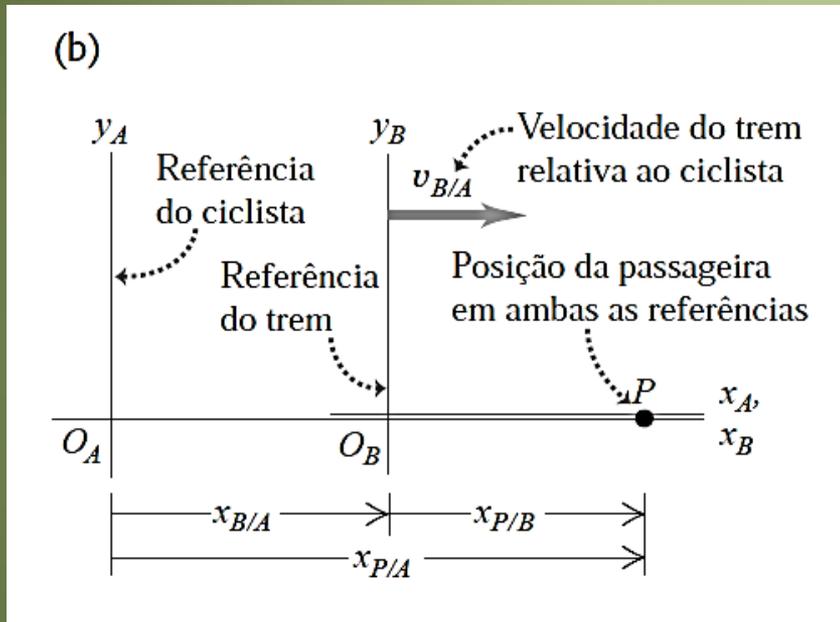


Figura 3.32 (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa

➤ Posições relativas

$$\mathbf{x}_{P/A} = \mathbf{x}_{P/B} + \mathbf{x}_{B/A}$$

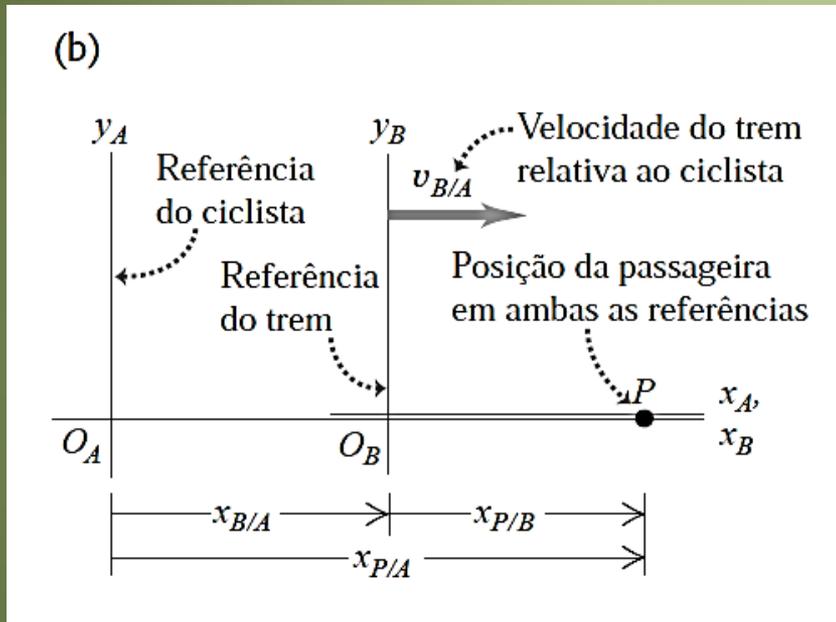
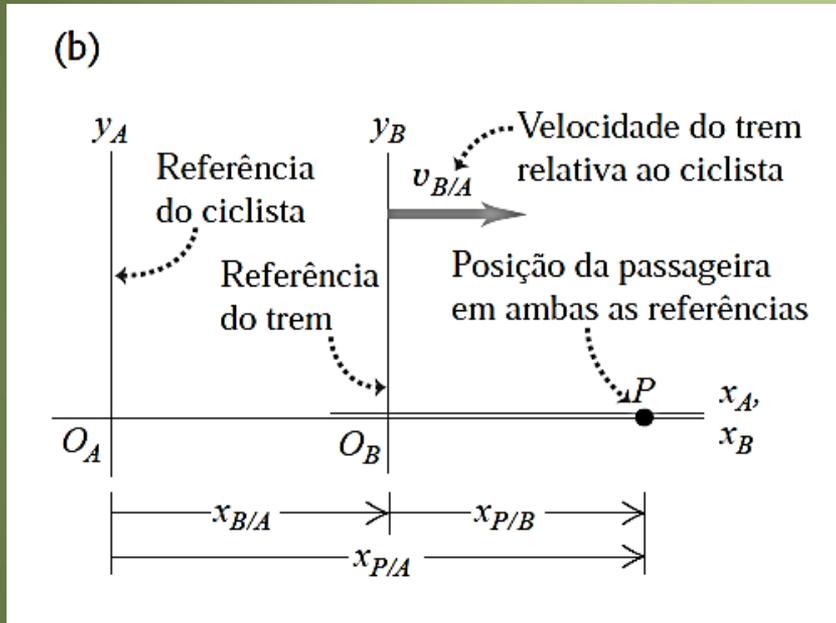


Figura 3.32 (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa



➤ Posições relativas

$$x_{P/A} = x_{P/B} + x_{B/A}$$

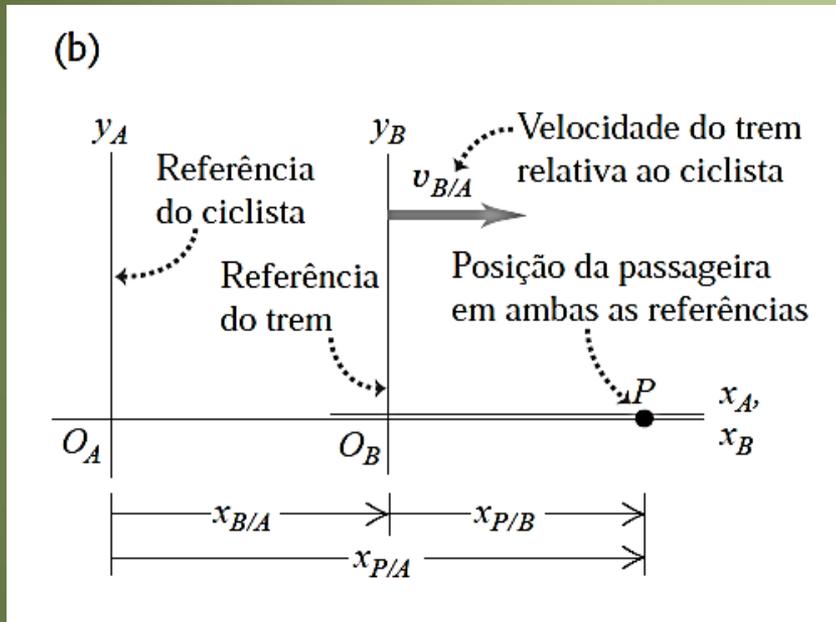
➤ Velocidades relativas

$$\frac{dx_{P/A}}{dt} = \frac{dx_{P/B}}{dt} + \frac{dx_{B/A}}{dt}$$

Figura 3.32 (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa



- Posições relativas

$$\mathbf{x}_{P/A} = \mathbf{x}_{P/B} + \mathbf{x}_{B/A}$$

- Velocidades relativas

$$\frac{d\mathbf{x}_{P/A}}{dt} = \frac{d\mathbf{x}_{P/B}}{dt} + \frac{d\mathbf{x}_{B/A}}{dt}$$

$$\mathbf{v}_{P/Ax} = \mathbf{v}_{P/Bx} + \mathbf{v}_{B/Ax}$$

Figura 3.32 (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa em duas dimensões

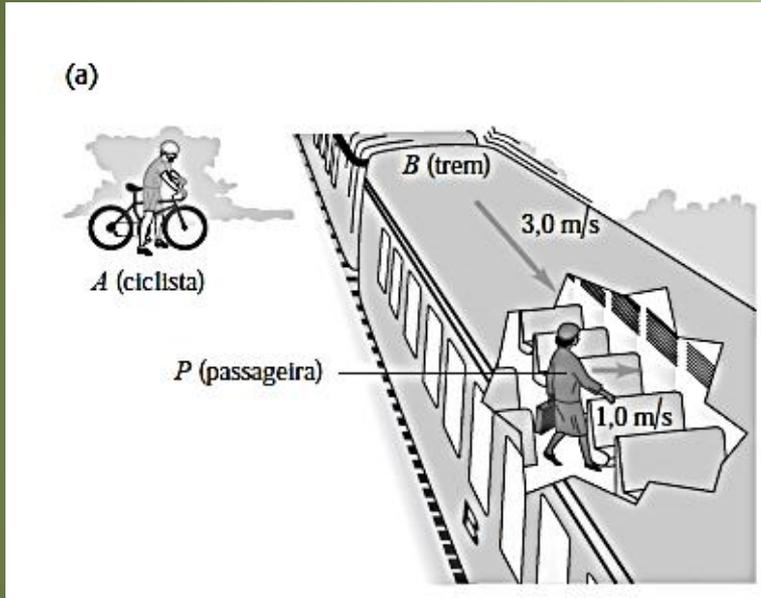


Figura 3.34 (a) Uma mulher andando de um lado a outro do trem. (b) Posição da mulher em relação ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem. (c) Diagrama vetorial para a velocidade da mulher em relação ao solo.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa em duas dimensões

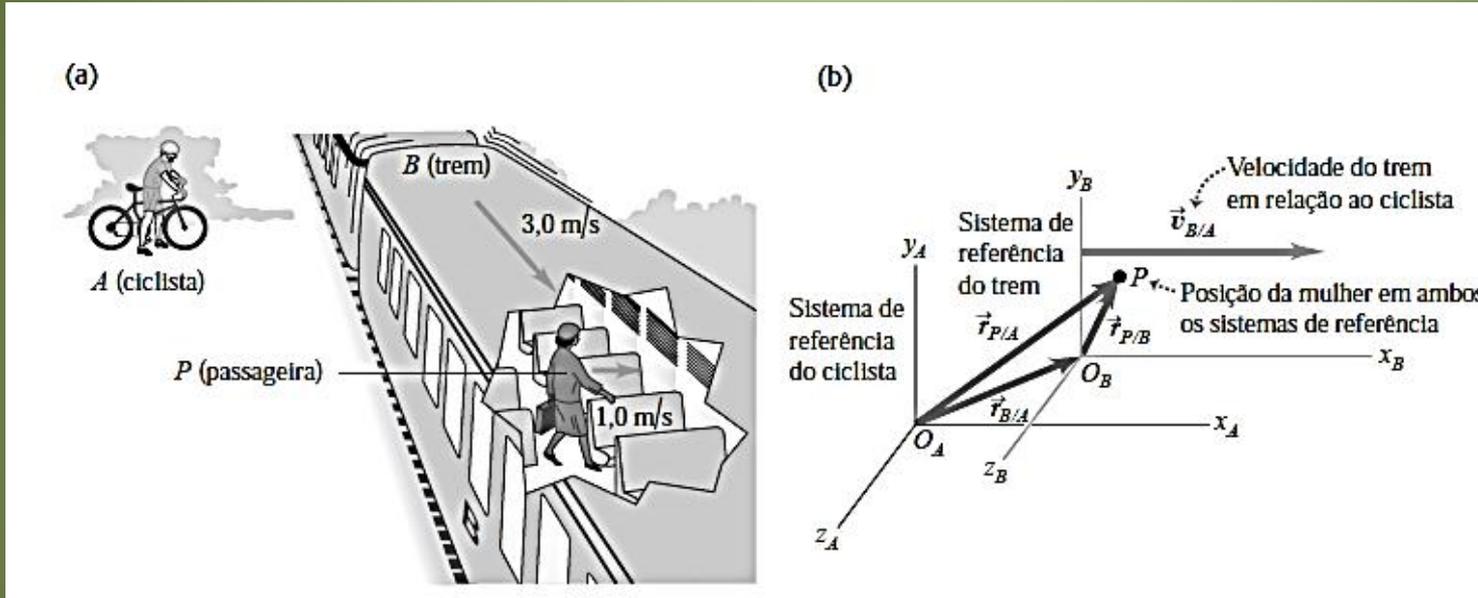


Figura 3.34 (a) Uma mulher andando de um lado a outro do trem. (b) Posição da mulher em relação ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem. (c) Diagrama vetorial para a velocidade da mulher em relação ao solo.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa em duas dimensões

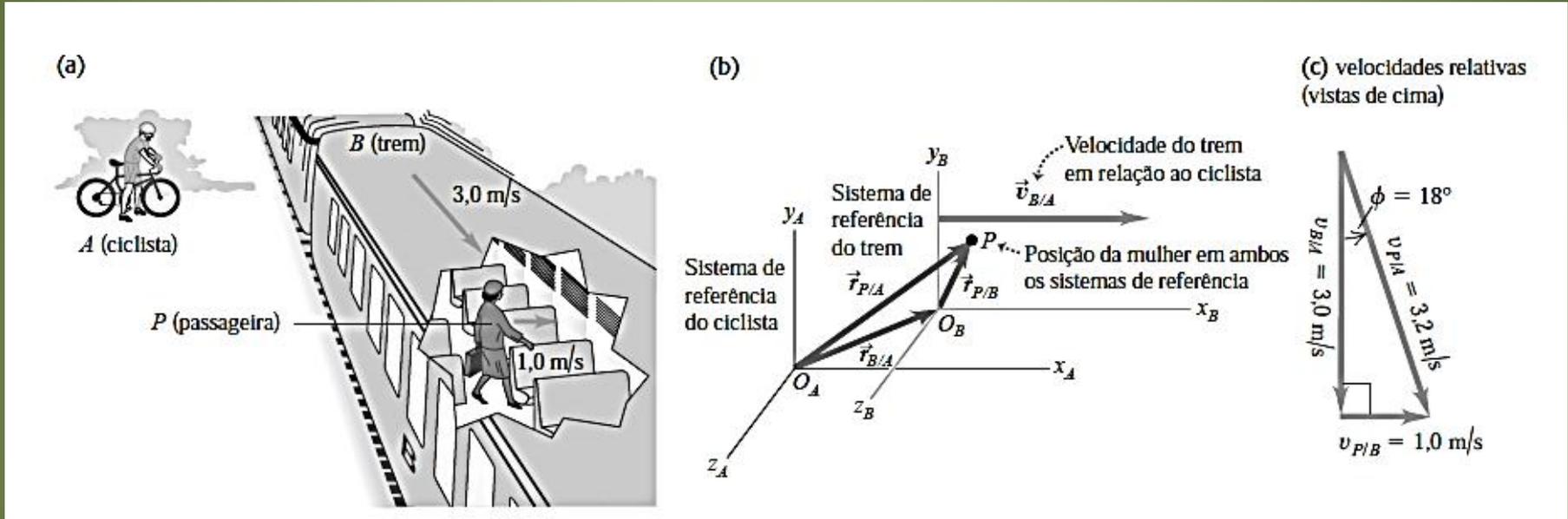


Figura 3.34 (a) Uma mulher andando de um lado a outro do trem. (b) Posição da mulher em relação ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem. (c) Diagrama vetorial para a velocidade da mulher em relação ao solo.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa em duas dimensões

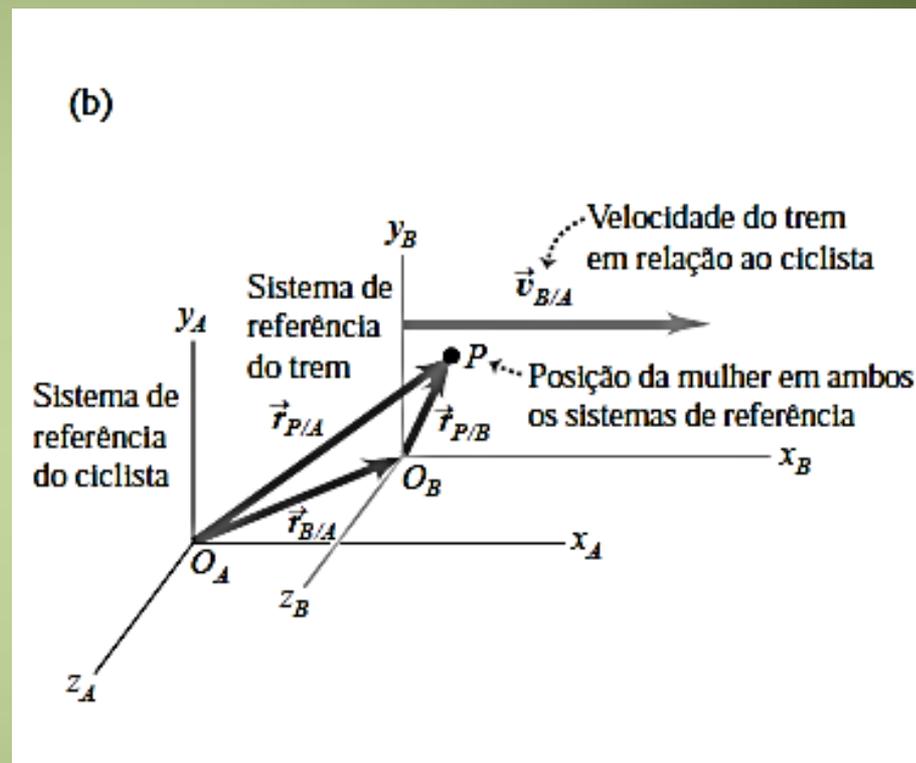


Figura 3.34 (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa em duas dimensões

➤ Posições relativas

$$\vec{r}_{P/A} = \vec{r}_{P/B} + \vec{r}_{B/A}$$

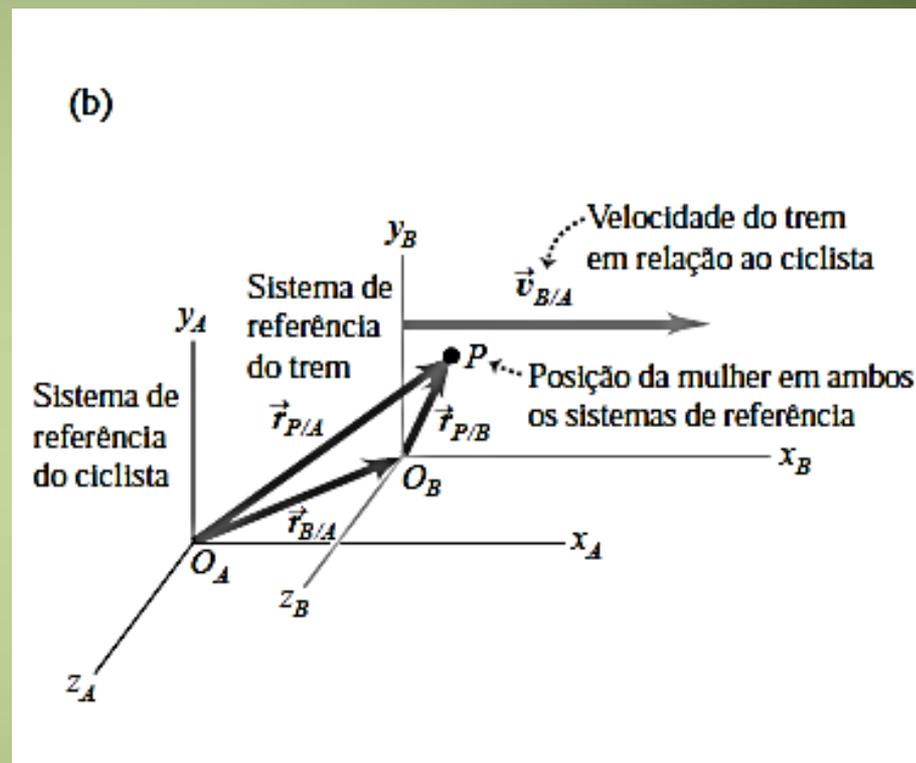


Figura 3.34 (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Velocidade relativa em duas dimensões

- Posições relativas

$$\vec{r}_{P/A} = \vec{r}_{P/B} + \vec{r}_{B/A}$$

- Velocidades relativas

$$\vec{v}_{P/A} = \vec{v}_{P/B} + \vec{v}_{B/A}$$

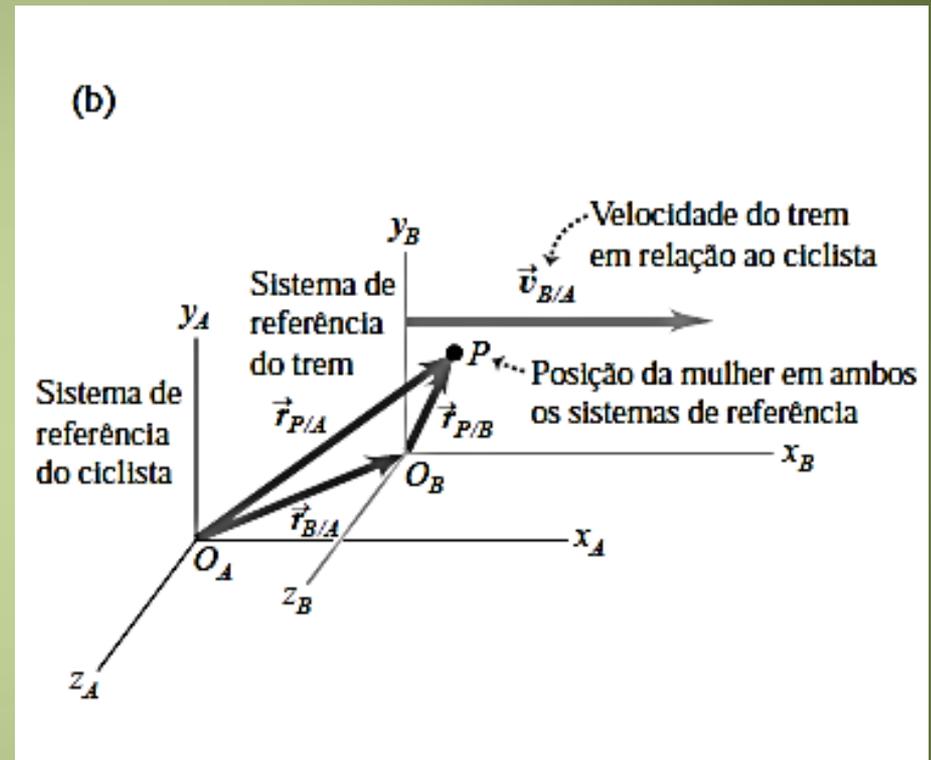


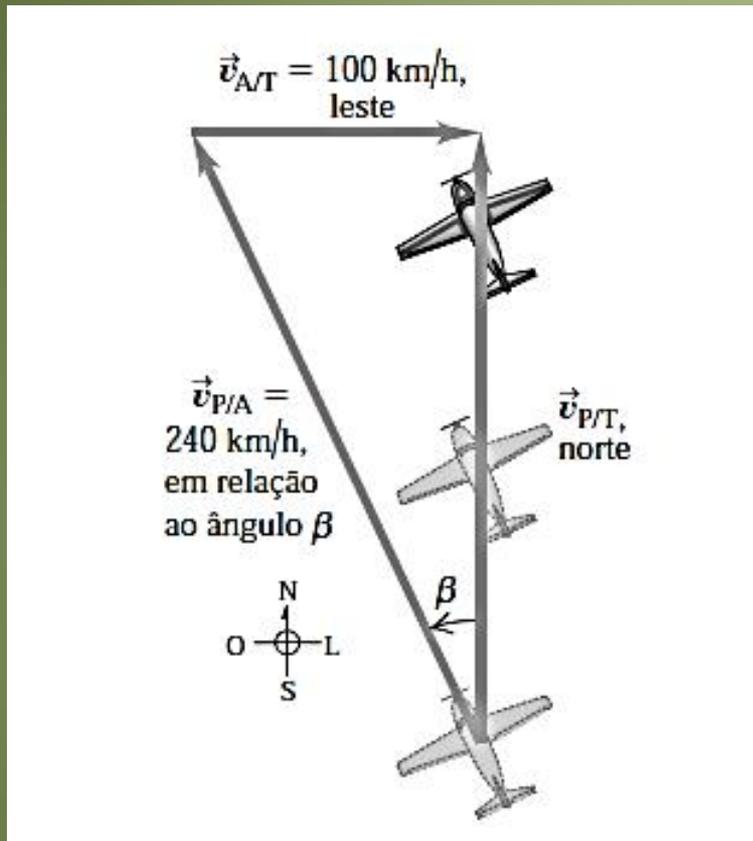
Figura 3.34 (b) A posição da mulher relativa ao sistema de referência do ciclista e ao sistema de referência do trem.

Fonte: Sears e Zemansky

Exemplo 3.14 e 3.15

CORREÇÃO EM RELAÇÃO AO VENTO ORTOGONAL: A bússola de um avião mostra que ele se desloca do sul para o norte, e seu indicador de velocidade do ar mostra que ele está se movendo no ar com velocidade igual a 240 km/h. Existe um vento de 100 km/h de oeste para leste.

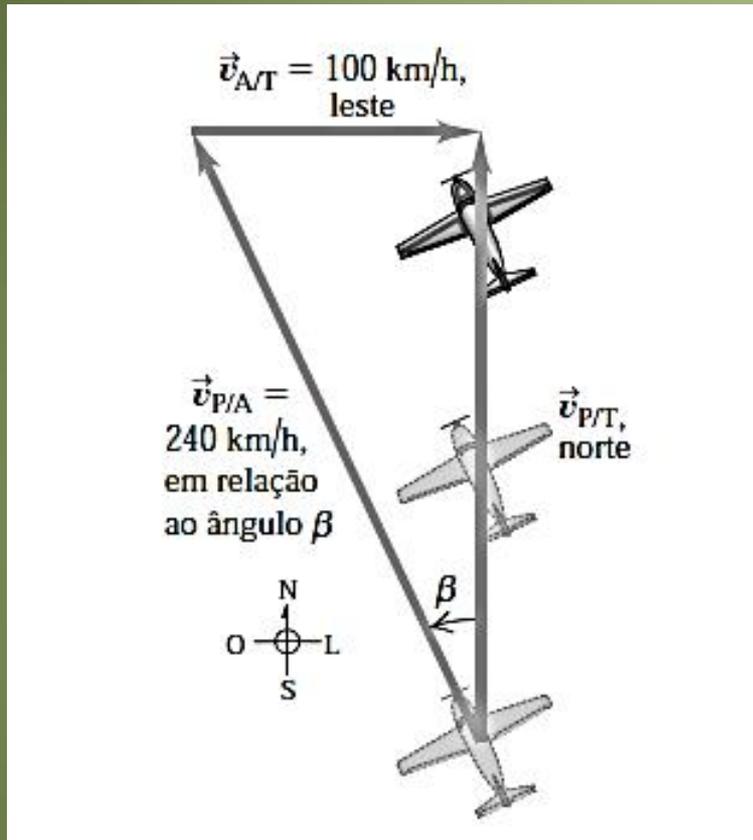
- (a) Em que direção o piloto deve inclinar o avião para que ele siga de sul para o norte?
- (b) Qual seria, então, sua velocidade em relação à Terra?



$$\vec{v}_{P/T} = \vec{v}_{P/A} + \vec{v}_{A/T}$$

Figura 3.36 O piloto deve inclinar o avião na direção do vetor $\vec{v}_{P/A}$ para que ele siga do sul para o norte em relação à Terra.

Fonte: Sears e Zemansky

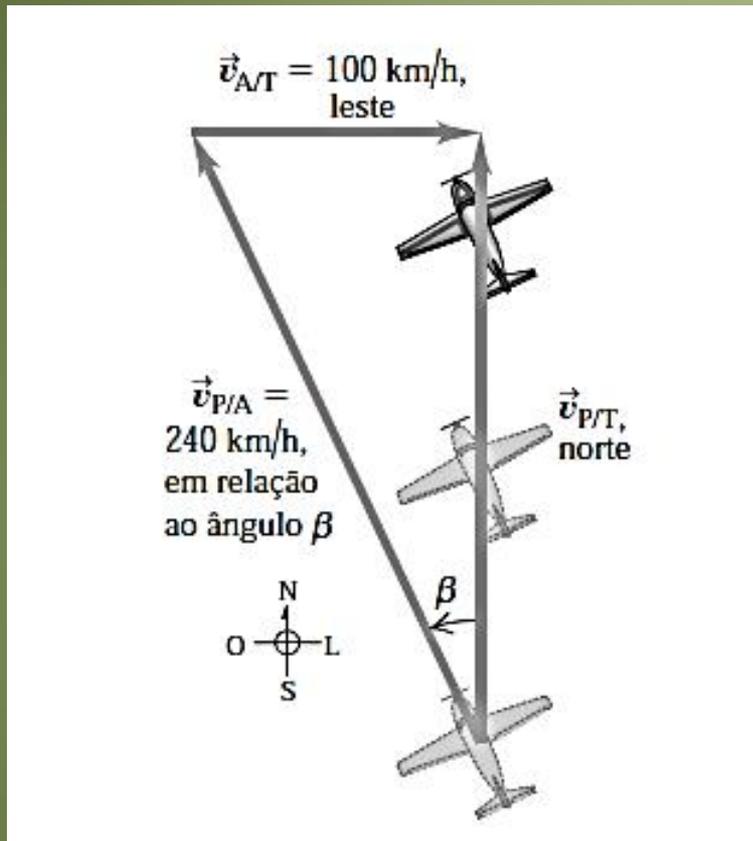


$$\vec{v}_{P/T} = \vec{v}_{P/A} + \vec{v}_{A/T}$$

$$|\vec{v}_{P/T}| = \sqrt{240^2 - 100^2}$$

Figura 3.36 O piloto deve inclinar o avião na direção do vetor $\vec{v}_{P/A}$ para que ele siga do sul para o norte em relação à Terra.

Fonte: Sears e Zemansky



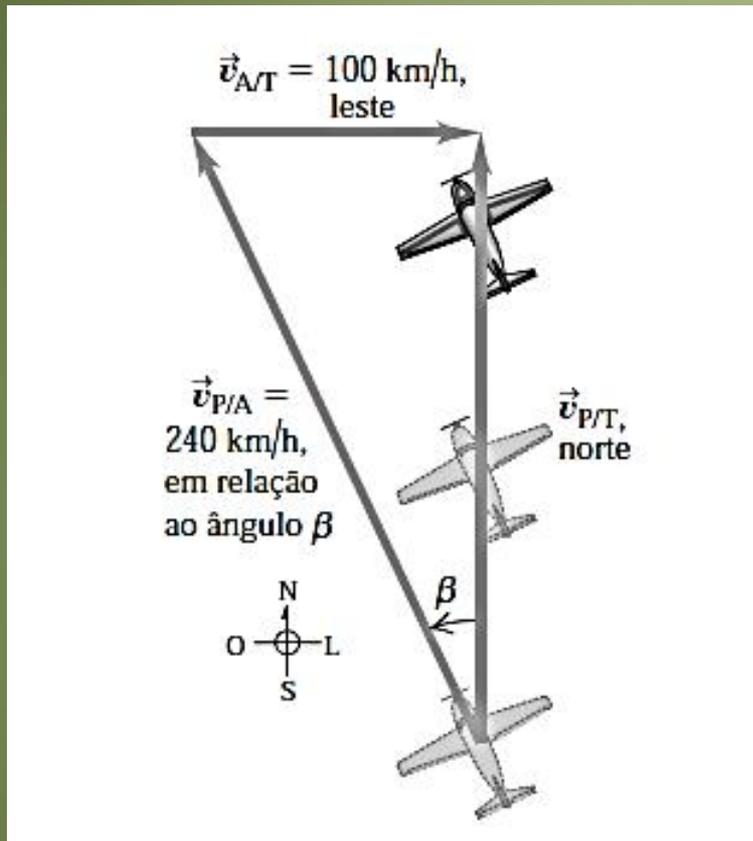
$$\vec{v}_{P/T} = \vec{v}_{P/A} + \vec{v}_{A/T}$$

$$|\vec{v}_{P/T}| = \sqrt{240^2 - 100^2}$$

$$|\vec{v}_{P/T}| = 218 \text{ km/h}$$

Figura 3.36 O piloto deve inclinar o avião na direção do vetor $\vec{v}_{P/A}$ para que ele siga do sul para o norte em relação à Terra.

Fonte: Sears e Zemansky



$$\vec{v}_{P/T} = \vec{v}_{P/A} + \vec{v}_{A/T}$$

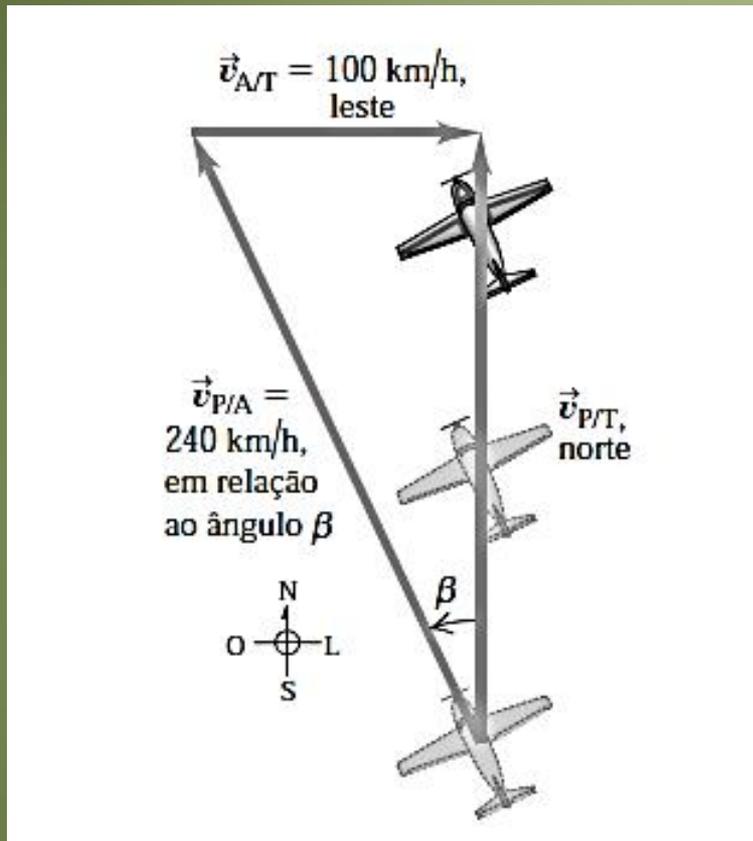
$$|\vec{v}_{P/T}| = \sqrt{240^2 - 100^2}$$

$$|\vec{v}_{P/T}| = 218 \text{ km/h}$$

$$\beta = \arcsen \frac{100}{240}$$

Figura 3.36 O piloto deve inclinar o avião na direção do vetor $\vec{v}_{P/A}$ para que ele siga do sul para o norte em relação à Terra.

Fonte: Sears e Zemansky



$$\vec{v}_{P/T} = \vec{v}_{P/A} + \vec{v}_{A/T}$$

$$|\vec{v}_{P/T}| = \sqrt{240^2 - 100^2}$$

$$|\vec{v}_{P/T}| = 218 \text{ km/h}$$

$$\beta = \arcsen \frac{100}{240} = 25^\circ$$

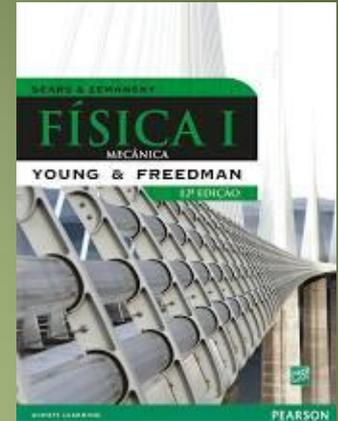
Figura 3.36 O piloto deve inclinar o avião na direção do vetor $\vec{v}_{P/A}$ para que ele siga do sul para o norte em relação à Terra.

Fonte: Sears e Zemansky

Referências

1. H.D. YOUNG, R.A. FREEDMAN, Sears e Zemansky, Física I – Mecânica, Addison Wesley Ed, São Paulo, 12a Edição, 2008. Disponível em:

<https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/270>



2. M. ALONSO e, E.J. FINN, Física: Um Curso Universitário. v.1, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1999. Disponível em:

<https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/158847>



Contatos



profhenriquefaria.com



henrique.faria@unesp.br